

補助事業番号 28-133
補助事業名 平成28年度 パッシプロボティクスが拓く下肢障がい者アクティブ運動
支援機開発 補助事業
補助事業者名 東北大学平田研究室 平田泰久

1 研究の概要

本研究では、下肢障がい者や下肢筋力の衰えた高齢者であっても、自らの脚を用いて屋内外問わず移動を行うことができる足こぎ型の新しい移動支援モビリティの開発を行った。特に高齢者や障がい者の支援にはその安全性が重要となるため、本研究ではサーボモータのような能動的な駆動力を発揮するアクチュエータを用いることなく、本質的受動特性を持つパッシブ移動システムを基盤とし、そのシステムに取り付けられたクラッチと無段変速機を適切に制御することで安全かつ快適なペダリング動作支援を実現した。

2 研究の目的と背景

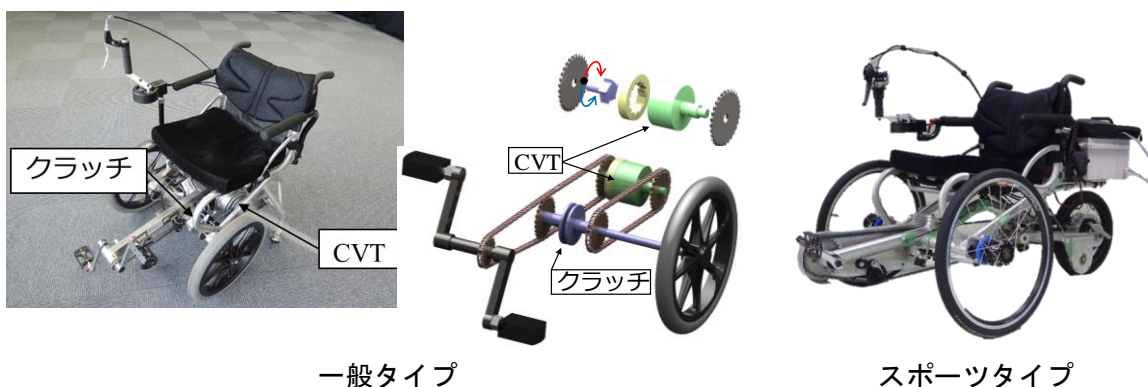
現在、自らの脚を用いてペダルをこぎ移動する足こぎ車いすという機器が販売されており、多くの下肢障がい者の移動の手段として期待されている。しかしこのシステムはもともと屋内でのリハビリテーション用に開発されたものであり、屋外での使用はもちろん、よりアクティブな運動には適用できないのが現状である。訓練されたアスリートが使用する場合と異なり、高齢者や障がい者が容易に屋内外での移動を行うためには安全なデバイスを開発する必要がある。屋外での移動・走行において障害となるのは急な下り坂でのオーバースピードや上り坂で登坂ができなくなり後方に下ってしまうことなどが挙げられる。一般にこのような状況を克服するためにはパワーアシスト機器の開発が期待されるが、大きな駆動力を持つサーボモータを用いたパワーアシストでは、サーボモータが適切に制御されないと、逆に使用者の意図に反して機器が駆動されるため非常に危険である。そこで、本研究では能動的な駆動力を用いることなく、足こぎ車いすに新たに搭載したクラッチと無段変速機を適切に制御することで安全かつ快適なペダリング動作を支援する新しい足こぎ型移動支援モビリティを研究開発することを目的とする。

3 研究内容

(1) 足こぎ型移動支援モビリティのハードウェア開発に関する研究

日常生活において、足こぎ車いすを利用する上で必要となる機能として、下り坂等でペダルを漕がずに前に進むことができる機能、ペダルの回転方向に合わせて前後移動できる機能、坂道などでの踏力支援機能、速度超過防止機能、旋回方向による踏力特性均一化機能などが考えられる。そこで、我々はこれらの要求を満たすクラッチと無段変速機（CVT）を組み合

わせた新しい足こぎ型移動支援モビリティを開発した。



一般タイプ
スポーツタイプ
無段変速機を利用した足こぎ型移動支援モビリティ

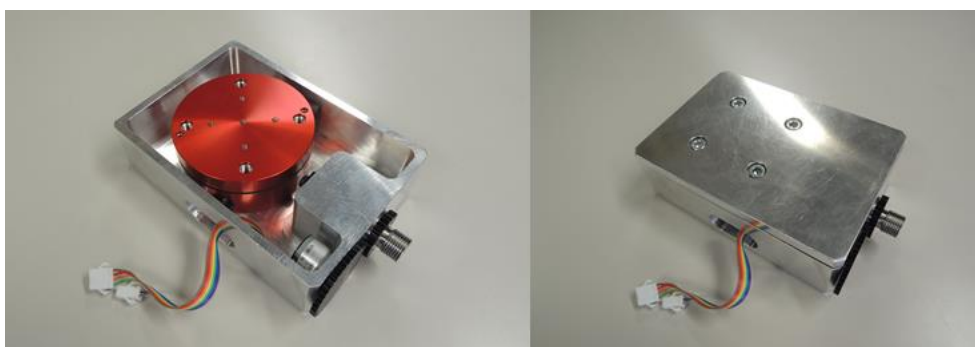
本研究で開発した足こぎ型移動支援モビリティでは、ペダリングの駆動トルクは、クラッチに取り付けられているスプロケットと無段変速機にそれぞれ伝達される。ここで、クラッチは、左車輪に接続されており、クラッチを係合することで、クランクのスプロケットと左車輪が直接接合される。一方、無段変速機に伝達されたペダリングトルクは、無段変速機を経由して、クラッチが接続されているのと同じ左車輪につながるようになっている。そのため、クラッチを係合していないときは、無段変速機のみが取り付けられたシステムと同様の制御を行うことが可能となる。一方、クラッチを係合した場合には、クラッチを経由して直接左車輪に動力が伝達されるが、無段変速機も一緒に回転するため、無段変速機のギア比によっては回転数の違う2つのスプロケットを、同じチェーンでつなげることになる。この構造を利用し、かつクラッチの係合と無段変速機のギア比を変化させることにより、次節で示すような様々な運動支援機能が実現できる。

本研究ではこのほかに車いすマラソンのようなスポーツ用途を想定した足こぎ型の移動支援モビリティを開発した。これも上記のシステムと同様に無段変速機を用いてギア比を変更することにより高速走行を行うことができる。ただし使用者は障がい者や高齢者を想定しているため、過度な高速走行を抑制するために、サーボブレーキを用いた速度抑制機能が実現されている。

(2) 足こぎ型移動支援モビリティの運動制御系設計に関する研究

足こぎ型の移動支援モビリティを屋内でも屋外でも安全に利用できるようにするためには、さまざまな状況に対応した機能を実現する必要がある。我々は前節に示したような無段変速機とクラッチを組み合わせたシステムを開発し、その制御系設計を行った。クラッチと無段変速機を協調制御することにより、ペダリングにより前後への移動が可能になるのはもちろんのこと、自転車のようにペダルを漕がなくても坂道を下れる機能や逆に坂道でブレーキをかける機能を実現した。さらに、上り坂において少ない踏力で登坂できる機能や旋回方向による踏力特性均一化機能など様々な走行支援機能を実現することができた。

一方、利用者の負担を定量的に評価するためには、利用者がペダルに加えた力を計測することが必要となる。本研究では、ペダルの角度や力を同時に取得可能なペダルを製作し、そのペダルに加わる踏力を測定することによって無段変速機とクラッチを組み合わせた足こぎ型の移動支援モビリティの評価を行った。評価実験では、前後への移動、旋回方向によるペダリングトルク差の抑制、ブレーキ制御を検証し、その有効性を確認した。



カセンサを利用した踏力計測ペダル

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

障がい者や高齢者が健常者と同様に自立した生活を送ることが可能な支援システムを提供することが、健康長寿社会の実現に大きく貢献するものである。特に高齢者・障がい者自身が積極的に自らの意志で活動することを促す機械システムの開発が重要であり、さらには、障がい者・高齢者のスポーツ支援も期待される。本研究では、高齢者や障がい者の衰えた下肢能力を適切に支援する足こぎ型移動支援モビリティの開発を行ったが、このシステムを用いて障がい者や高齢者が屋外を自由に移動することができれば、その活動範囲が大きく拡大する。また、車いすマラソンのようなスポーツを意欲的に楽しむことができれば、障がい者・高齢者の積極的な社会参加を促すことにもつながり、超高齢化社会の問題の一つの解決策を提示するものとなる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者は従来、人とロボットの協調制御の研究に取り組んできた。最初の研究では、重量物や大型物体の搬送を手助けするパワーアシストロボットに関する研究を行ってきたが、近年では特に歩行器や車いすの高機能化を目指したロボット開発を進めている。その中で、特に人間の安全性確保を重視し、また人間の自発的な運動を促進するロボット開発を進めており、その概念を統合して開発したのが今回の足こぎ型移動支援モビリティである。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【発表論文】

(1) 原著論文発表（国際（欧文）1誌1件

[Yasuhisa Hirata, Yuto Tanaka, Motion Control of Cycling Wheelchair With Continuously Variable Transmission and Clutch, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.3, No. 1, 148-154, 2018.](#)

(2) その他の著作物（総論）

特になし

【学会発表】

- 田中優斗, 無段変速機とクラッチを用いた足こぎ車いすの踏力評価, [計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会](#), 2017年12月22日, 仙台
- 田中優斗, 無段変速機とクラッチを用いた足こぎ車いすの走行制御, [日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会](#), 2017年5月13日, 福島

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

足こぎ型の移動支援モビリティ



(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東北大学大学院 工学研究科 ロボティクス専攻 平田・翁研究室
(トウホクダイガクダイガクイン コウガクケンキュウカ ロボティクスセンコウ
ヒラタ・ウェンケンキュウシツ)

住 所： 〒980-8579

仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01

申 請 者： 教授 平田泰久（ヒラタヤスヒサ）

E - m a i l : contact@srd.mech.tohoku.ac.jp

U R L : <http://srd.mech.tohoku.ac.jp/>